支链氨基酸对肉鸡生长性能及肠道发育的影响

常银莲　刘国华　常文环　张　姝　郑爱娟　蔡辉益*

（中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放实验室，北京　100081）

摘　要：本试验旨在研究支链氨基酸(BCAAs)对肉鸡生长性能及肠道发育的影响。选取 1 日龄爱拔益加（AA）健康肉公鸡 384 只，随机分为 4 组，每组 6 个重复，每个重复 16 只。各组分别饲喂 BCAAs 水平为 3.04%、3.93%、4.82%和 5.71%的试验饲粮，各组饲粮中亮氨酸:异亮氨酸:缬氨酸均为 1.8:1.0:1.2，自由采食和饮水，试验期 21 d。结果表明：各组肉鸡体重及平均日增重均无显著性差异（P>0.05），但 5.71%组肉鸡平均日采食量显著小于 3.04%组（P<0.05），4.82%和 5.71%组肉鸡料重比显著小于 3.04%组（P<0.05）。14、21 日龄时，随着 BCAAs 水平从 3.04%增加到 4.82%，肉鸡十二指肠、空肠单位长度重及空肠相对重逐渐增加，且 4.82%组肉鸡十二指肠单位长度重显著大于 3.04%组（P<0.05）；而当 BCAAs 水平从 4.82%增加到 5.71%时，则肉鸡十二指肠单位长度重及空肠相对重显著下降（P<0.05）。在 14、21 日龄时，4.82%组肉鸡十二指肠和回肠绒毛高度均显著大于 3.04%组（P<0.05）。在 10、14 日龄时，4.82%组肉鸡空肠绒毛高度显著大于 3.04%组（P<0.05）；5.71%组肉鸡小肠绒毛高度均显著小于 4.82%组（P<0.05）。另外，5.71%组肉鸡空肠隐窝深度与 3.04%组无显著差异（P>0.05）；而 10、21 日龄时，4.82%组肉鸡空肠隐窝深度显著大于 3.93%组（P<0.05）。10、14、21 日龄时，5.71%组肉鸡空肠和回肠的绒毛高度/隐窝深度（V/C）最低，且与 3.04%组差异不显著（P>0.05）；但 3.93%组肉鸡空肠和回肠 V/C 显著大于 5.71%组（P<0.05）。由此可见，本试验条件下，增加饲粮 BCAAs 水平能够降低肉鸡料重比；适宜水平的 BCAAs 能够促进肉鸡肠道生长发育；但高水平 BCAAs 则会显著降低肉鸡平均日采食量，同时导致

收稿日期：2015-07-27

基金项目：国家肉鸡产业技术体系建设资助（CARS-42）

作者简介：常银莲（1989—），女，河南兰考人，硕士研究生，从事家禽营养与饲料科学研究。E-mail：changyinlian356@163.cn

*通信作者：蔡辉益，研究员，博士生导师，E-mail： caihuiyi@caas.cn

小肠生长发育减慢。

关键词：支链氨基酸；肉鸡；生长性能；肠道发育

中图分类号：S831

支链氨基酸(branched-chain amino acids,BCAAs)是指 α-C 上含有分支脂肪烃链，且动物体自身不能合成的中性必需氨基酸，包括亮氨酸(Leu)、异亮氨酸(Ile)和缬氨酸(Val)。BCAAs 在增强氧化供能，提高机体免疫力，调节母畜泌乳，促进糖异生，增强蛋白质合成和抑制蛋白质降解等方面均起着重要的生理调控作用[1]。研究表明，BCAAs 可以参与葡萄糖-丙氨酸循环，代谢生成丙氨酸和酮体，为机体提供大量 ATP[2]，并能够促进某些激素（如生长激素和胰岛素）的分泌[3]。因此，BCAAs 在动物生长发育过程中起着非常重要的作用。目前，BCAAs 在猪和小鼠上的研究比较多，且主要集中在 BCAAs 对骨骼肌蛋白质合成[4-5]及脂肪代谢[6-7]的影响，在家禽肠道发育方面的研究鲜见报道。另外，许多报道均表明 BCAAs 之间存在拮抗作用[8-9]，当饲粮中 BCAAs 不平衡时会影响氨基酸的利用率，因此，保持 BCAAs 之间的平衡，对于提高机体对氨基酸的利用率具有重要的潜在意义。本试验在 BCAAs 平衡的基础上，通过调节饲粮中 BCAAs 水平，研究 BCAAs 对肉鸡生长性能及肠道发育的影响，为家禽氨基酸的精确营养提供指导，也为进一步研究 BCAAs 作为功能性氨基酸发挥作用的分子机理提供理论基础。

1 材料方法

1.1 试验动物及试验地点

本试验所用动物为健康爱拔益加（AA）肉公鸡，北京华都肉鸡公司提供，试验期 21 d。饲养试验在中国农业科学院南口中试基地进行。

1.2 试验设计和试验饲粮

本试验采用单因素完全随机试验设计，选用 384 只 1 日龄健康且体重相近的 AA 肉公鸡，随机分为 4 组，每组 6 个重复，每个重复 16 只。各组分别饲喂 BACCs 水平为 3.04%、3.93%、

4.82%和 5.71%的试验饲粮，其中 Leu:Ile:Val 均为 1.8:1.0:1.2，饲粮参照我国《肉鸡饲养标准》（NY/T 33-2004）配制，其组成及营养水平见表 1。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（风干物质）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	支链氨基酸水平 BCAAs level/%			
	3.04	3.93	4.82	5.71
原料 Ingredients				
小麦 Wheat	10.00	10.00	10.00	10.00
玉米淀粉 Corn starch	37.99	39.41	40.89	42.35
膨化大豆 Extruded soybean	26.47	23.18	19.76	16.40
棉籽粕 Cottonseed meal	5.00	5.00	5.00	5.00
双低菜籽粕 Double low rapeseed meal	6.00	6.00	6.00	6.00
菜籽粕 Rapeseed meal	3.00	3.00	3.00	3.00
米糠 Rice bran	4.00	4.00	4.00	4.00
鱼粉 Fish meal	3.00	3.00	3.00	3.00
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.49	1.55	1.61	1.67
石粉 Limestone	1.16	1.15	1.14	1.13
L-赖氨酸 *L*-Lys	0.30	0.40	0.50	0.60
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.25	0.26	0.28	0.29
L-苏氨酸 *L*-Thr	0.10	0.15	0.21	0.26
半胱氨酸 Cys	0.09	0.11	0.13	0.14
L-色氨酸 *L*-Try		0.02	0.04	0.05

亮氨酸 Leu		0.50	1.00	1.50
异亮氨酸 Ile	0.02	0.29	0.58	0.85
缬氨酸 Val	0.02	0.35	0.69	1.01
甘氨酸 Gly		0.11	0.23	0.35
酪氨酸 Tyr		0.04	0.09	0.13
组氨酸 His		0.03	0.07	0.10
苯丙氨酸 Phe		0.06	0.12	0.18
精氨酸 Arg		0.08	0.17	0.25
氯化胆碱 Choline chloride	0.20	0.20	0.20	0.20
矿物质预混料 Mineral premix[1)]	0.10	0.10	0.10	0.10
维生素预混料 Vitamin premix[1)]	0.04	0.04	0.04	0.04
沸石粉 Zeolite powder	0.47	0.67	0.85	1.10
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]				
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.34	12.34	12.34	12.34
粗蛋白质 CP	20.04	20.68	20.04	20.13
粗脂肪 EE	6.07	5.50	4.91	4.32
赖氨酸 Lys	1.34	1.54	1.42	1.34
蛋氨酸 Met	0.56	0.50	0.58	0.47
苏氨酸 Thr	0.82	0.84	0.81	0.80
色氨酸 Try	0.21	0.22	0.22	0.22
精氨酸 Arg	1.19	1.21	1.12	1.15
亮氨酸 Leu	1.26	1.69	2.10	2.53

异亮氨酸 Ile	0.73	0.93	1.16	1.33
缬氨酸 Val	0.85	1.10	1.40	1.63
钙 Ca	1.00	1.00	1.00	1.00
有效磷 AP	0.50	0.50	0.50	0.50

[1)] 矿物质预混料和维生素预混料为每千克饲粮提供 Mineral premix and vitamin premix provided the following per kg of the diets:VA 2 500 IU，VD_3 400 IU，VE 10 IU，VK_3 0.5 mg，VB_1 1.8 mg，VB_2 4.0 mg，VB_6 3.0 mg，VB_{12} 710 μg，泛酸 pantothenic acid 11 mg，烟酸 nicotinic acid 55 mg，叶酸 folic acid 0.5 mg，生物素 biotin 0.12 mg，Cu 8 mg，Fe 80 mg，Zn 40 mg，Mn 60 mg，Se 0.15 mg，I 0.35 mg。

[2)] 代谢能、粗脂肪、钙及有效磷为计算值，其余为实测值。ME, EE, Ca and AP were calculated values, while the others were measured values.

1.3 饲养管理

采用笼养方式饲养，按照《AA 肉鸡饲养手册》推荐程序进行常规管理和免疫。试验期间自由采食和饮水，每天 23 h 光照，观察试验鸡的精神状态、食欲及粪便情况，并记录死亡情况。

1.4 样品采集

分别于 4、7、10、14、21 日龄，每个重复选取 1 只接近平均体重的鸡，颈静脉放血，屠宰，分离肠道，测定相应的器官指数，并取小肠各肠段 1.5 cm 左右置于 4%甲醛溶液中固定，用于制备组织切片，评价小肠的组织形态学发育状况。

1.5 测定指标与方法

1.5.1 生长性能

试验于第 21 天早晨空腹称重，记录肉鸡体重(body weight,BW)。于屠宰前 1 d 22:00 开始禁食，期间可自由饮水。次日 08:00 以重复为单位称重，记录肉鸡采食量，并计算平均日

采食量(average daily feed intake,ADFI)、平均日增重(average daily gain,ADG)和料重比(feed/gain,F/G)。

1.5.2 消化道器官指数

屠宰解剖后分离十二指肠、空肠和回肠，测定各肠段的长度、重量，并计算各肠段相对重及单位长度重。

1.5.3 小肠形态结构指标

将固定好的组织经脱水→包埋→切片、烤片→二甲苯脱蜡→水化→染色→封片处理后，用显微镜观察，并使用专业图像分析软件 Image-ProPlus 7.0 进行数据测量。测量指标包括绒毛高度和隐窝深度，每张切片取 5 个视野，取平均值作为最终结果，并记录数据，计算绒毛高度/隐窝深度(villus height/crypt depth,V/C)。小肠绒毛高度为从肠腺开口至绒毛顶端的垂直高度距离；隐窝深度为从隐窝开口至隐窝基部的垂直距离。

1.6 统计方法

试验数据采用 SPSS 19.0 统计软件进行 LSD 单因素方差分析(one-way ANOVA)，对 *F* 检验达到显著水平的因子，进行 LSD 法多重比较，数据均以平均值±标准差表示，以 $P<0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2 结果与分析

2.1 BCAAs 对肉鸡生长性能的影响

由表 2 可知，4.82%、3.93%和 5.71%组肉鸡的体重及平均日增重均大于 3.04%组，但各组之间差异不显著（$P>0.05$）。而肉鸡平均日采食量及料重比，随 BCAAs 添加水平增加而逐渐降低，其中，5.71%组肉鸡平均日采食量显著小于 3.04%组（$P<0.05$），4.82%和 5.71%组肉鸡的料重比显著小于 3.04%组（$P<0.05$）。

表 2 BCAAs 对肉鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of BCAAs on the growth performance of broilers

项目	支链氨基酸水平 BCAAs level/%			
Items	3.04	3.93	4.82	5.71
体重 BW/g	733.23±10.50	755.70±39.68	777.50±16.22	750.44±49.59
平均日采食量 ADFI/g	46.51±1.17^{b}	45.84±2.34^{ab}	45.56±1.95^{ab}	43.57±2.12^{a}
平均日增重 ADG/g	32.57±1.48	33.61±2.51	35.11±0.28	33.57±2.36
料重比 F/G	1.56±0.07^{b}	1.50±0.06^{ab}	1.47±0.02^{a}	1.45±0.05^{a}

同行数据肩标不同的小写字母表示差异显著(*P*<0.05)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05). The same as below.

2.2 BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠长度、相对重及单位长度重的影响

2.2.1 BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠长度的影响

由表 3 可知，7 日龄时，3.04%组肉鸡小肠总长度及回肠长度显著大于 3.93%和 5.71%组（*P*<0.05），且 5.71%组小肠总长度显著小于 4.82%组（*P*<0.05），3.04%组肉鸡十二指肠长度显著大于 5.71%组（*P*<0.05）。10 日龄时，4.82%组肉鸡小肠总长度及空肠长度显著大于 5.71%组（*P*<0.05）。其余日龄各组之间小肠总长度及各肠段长度均差异不显著（*P*>0.05）。

表 3 BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠长度的影响

Table 3 Effects of BCAAs on the length of small intestine of broilers aged of different days cm

项目 Items	支链氨基酸水平 BCAAs level/%			
	3.04	3.93	4.82	5.71
小肠 Small intestine				
4 日龄 4 days of age	76.24±5.75	71.20±4.46	74.40±2.06	75.28±5.55
7 日龄 7 days of age	96.32±7.43^{c}	86.72±6.07^{ab}	92.56±6.30^{bc}	83.48±5.16^{a}

10 日龄 10 days of age	100.20±10.18[ab]	104.20±7.56[ab]	108.13±4.09[b]	94.20±7.69[a]
14 日龄 14 days of age	117.22±2.79	115.68±6.69	119.62±6.65	114.70±8.84
21 日龄 21 days of age	143.30±14.59	141.10±6.93	147.60±16.16	138.80±5.79
十二指肠 Duodenum				
4 日龄 4 days of age	13.90±1.80	13.58±2.02	14.48±0.86	13.80±1.03
7 日龄 7 days of age	19.30±2.66[b]	18.04±1.63[ab]	18.64±1.45[ab]	16.46±1.57[a]
10 日龄 10 days of age	18.80±2.17	18.90±1.92	18.50±1.46	17.30±0.57
14 日龄 14 days of age	23.66±1.55	21.83±2.17	21.96±1.58	22.94±0.88
21 日龄 21 days of age	28.90±2.33	26.60±4.01	25.40±3.38	26.20±2.31
空肠 Jejunum				
4 日龄 4 days of age	32.86±2.52	31.50±2.89	32.10±1.31	30.94±3.23
7 日龄 7 days of age	39.26±4.52	36.76±2.54	37.56±3.72	35.78±2.56
10 日龄 10 days of age	43.70±5.78[ab]	46.40±4.17[ab]	48.80±2.36[b]	41.60±4.01[a]
14 日龄 14 days of age	47.12±3.60	46.20±4.38	49.34±5.40	45.86±3.72
21 日龄 21 days of age	61.00±6.44	59.30±3.15	60.72±4.90	60.80±6.92
回肠 Ileum				
4 日龄 4 days of age	30.92±2.56	27.30±3.43	27.84±2.02	30.56±2.35
7 日龄 7 days of age	41.00±5.14[b]	35.82±4.36[a]	37.48±2.02[ab]	35.06±2.08[a]
10 日龄 10 days of age	40.30±3.65	41.30±1.60	42.80±3.56	38.80±2.22
14 日龄 14 days of age	45.22±3.18	42.90±4.17	45.22±5.74	45.08±4.29
21 日龄 21 days of age	55.40±5.85	54.90±4.29	51.20±5.62	54.90±6.68

102 2.2.2 BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠相对重的影响

103 由表 4 可知，4 日龄时，各组之间肉鸡小肠相对总重均无显著性差异（P>0.05），而 4.82%

组肉鸡十二指肠相对重显著大于 3.93%组（*P*<0.05），各组空肠及回肠相对重差异不显著（*P*>0.05）。7 日龄时，5.71%组肉鸡小肠相对总重显著小于 3.04%和 3.93%组（*P*<0.05），5.71%组十二指肠相对重则显著小于其余 3 组（*P*<0.05）。10 日龄时，4.82%组肉鸡空肠相对重显著大于 3.04%和 5.71%组（*P*<0.05），其他各组之间无显著差异（*P*>0.05）。14 日龄时，5.71%组肉鸡小肠相对总重显著小于其他组（*P*<0.05）；且 5.71%组空肠相对重也小于 3.93%和 4.82%（*P*<0.05），而 3.04%组空肠相对重显著小于 4.82%组（*P*<0.05）；5.71%组肉鸡回肠相对重显著小于 3.04%组（*P*<0.05）。21 日龄时，4.82%组肉鸡小肠相对总重和空肠相对重均显著大于 5.71%组（*P*<0.05），而与 3.04%和 3.93%组差异不显著（*P*>0.05）；各试验组十二指肠和回肠相对重均差异不显著（*P*>0.05）。

表 4　BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠相对重的影响

Table 4　Effects of BCAAs on the relative weight of small intestine of broilers aged of different days　　%

项目 Items	支链氨基酸水平 BCAAs level/%			
	3.04	3.93	4.82	5.71
小肠 Small intestine				
4 日龄 4 days of age	6.91±0.33	6.57±0.43	7.20±0.80	6.71±0.20
7 日龄 7 days of age	7.04±0.35[b]	7.35±0.63[b]	6.72±0.40[ab]	6.30±0.42[a]
10 日龄 10 days of age	6.59±0.31	7.06±0.20	7.06±0.56	6.53±0.33
14 日龄 14 days of age	5.77±0.22[b]	5.85±0.32[b]	6.08±0.20[b]	5.32±0.21[a]
21 日龄 21 days of age	5.74±0.13[ab]	5.91±0.64[ab]	6.08±0.25[b]	5.35±0.71[a]
十二指肠 Duodenum				
4 日龄 4 days of age	1.91±0.3[ab]	1.87±0.18[a]	2.26±0.35[b]	1.98±0.08[ab]
7 日龄 7 days of age	2.09±0.09[b]	2.20±0.21[b]	2.09±0.10[b]	1.83±0.15[a]

10 日龄 10 days of age	2.17±0.25	2.28±0.27	2.18±0.20	1.99±0.14
14 日龄 14 days of age	1.55±0.10	1.57±0.05	1.63±0.06	1.53±0.12
21 日龄 21 days of age	1.50±0.13	1.44±0.22	1.53±0.08	1.33±0.13
空肠 Jejunum				
4 日龄 4 days of age	2.61±0.18	2.63±0.57	2.82±0.15	2.61±0.15
7 日龄 7 days of age	2.66±0.20	2.67±0.48	2.58±0.17	2.46±0.20
10 日龄 10 days of age	2.42±0.26^{a}	2.68±0.12^{ab}	2.79±0.09^{b}	2.41±0.31^{a}
14 日龄 14 days of age	2.33±0.13^{ab}	2.48±0.20^{bc}	2.67±0.13^{c}	2.23±0.24^{a}
21 日龄 21 days of age	2.44±0.13^{ab}	2.46±0.15^{ab}	2.68±0.24^{b}	2.25±0.38^{a}
回肠 Ileum				
4 日龄 4 days of age	2.25±0.14	1.95±0.09	2.04±0.36	2.02±0.18
7 日龄 7 days of age	2.06±0.35	2.22±0.38	1.92±0.26	1.89±0.20
10 日龄 10 days of age	1.84±0.14	1.84±0.12	1.85±0.13	1.96±0.29
14 日龄 14 days of age	1.84±0.26^{b}	1.72±0.25^{ab}	1.71±0.11^{ab}	1.53±0.08^{a}
21 日龄 21 days of age	1.74±0.11	1.69±0.31	1.80±0.10	1.70±0.27

2.2.3 BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠单位长度重的影响

由表 5 可知，4 日龄时，4.82%组肉鸡十二指肠单位长度重显著大于 3.04%和 3.93%组（P<0.05）；7 日龄时，3.93%组肉鸡回肠单位长度重显著大于 3.04%和 4.82%组（P<0.05）；14 日龄时，3.93%和 4.82%组肉鸡十二指肠单位长度重显著大于 3.04%和 5.71%组（P<0.05）；21 日龄时，4.82%组肉鸡十二指肠单位长度重显著大于其他组（P<0.05）。此外，在试验不同日龄，各组之间空肠单位长度重差异不显著（P>0.05），但与十二指肠单位长度重表现出相似的趋势，即 BCAAs 水平从 4.82%增加到 5.71%时，单位长度重出现下降。

表 5　BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠单位长度重的影响

Table 5　Effects of BCAAs on the weight of unit length of small intestine broilers aged of different days　g/dm

项目 Items	支链氨基酸水平 BCAAs level/%			
	3.04	3.93	4.82	5.71
十二指肠 Duodenum				
4 日龄 4 days of age	1.19±0.04^{a}	1.18±0.11^{a}	1.34±0.16^{b}	1.21±0.07^{ab}
7 日龄 7 days of age	1.59±0.24	1.77±0.29	1.62±0.13	1.63±0.12
10 日龄 10 days of age	2.70±0.25	2.90±0.41	2.77±0.32	2.70±0.23
14 日龄 14 days of age	2.69±0.15^{a}	3.01±0.28^{b}	3.09±0.20^{b}	2.72±0.22^{a}
21 日龄 21 days of age	3.78±0.55^{a}	4.04±0.41^{a}	4.74±0.69^{b}	3.92±0.32^{a}
空肠 Jejunum				
4 日龄 4 days of age	0.69±0.08	0.70±0.06	0.76±0.05	0.71±0.07
7 日龄 7 days of age	0.99±0.11	1.05±0.15	1.00±0.10	1.01±0.13
10 日龄 10 days of age	1.30±0.18	1.39±0.10	1.34±0.06	1.35±0.08
14 日龄 14 days of age	2.03±0.11	2.25±0.30	2.27±0.29	1.98±0.21
21 日龄 21 days of age	2.93±0.40	3.12±0.45	3.44±0.40	2.87±0.47
回肠 Ileum				
4 日龄 4 days of age	0.63±0.06	0.62±0.12	0.63±0.08	0.56±0.05
7 日龄 7 days of age	0.72±0.08^{a}	0.89±0.08^{b}	0.74±0.08^{a}	0.79±0.07^{ab}
10 日龄 10 days of age	1.07±0.15	1.07±0.11	1.02±0.10	1.19±0.22
14 日龄 14 days of age	1.66±0.20	1.68±0.31	1.58±0.23	1.39±0.09
21 日龄 21 days of age	2.31±0.35	2.29±0.44	2.75±0.36	2.40±0.43

2.3　BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠黏膜发育的影响

2.3.1 BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠绒毛高度的影响

由表 6 可见，对于十二指肠黏膜发育，4 日龄时，4.82%组肉鸡十二指肠绒毛高度显著大于 3.93%和 5.71%组（*P*<0.05），5.71%组肉鸡十二指肠绒毛高度显著小于 3.04%组（*P*<0.05）。7、10 日龄时，5.71%组肉鸡十二指肠绒毛高度显著小于其他组（*P*<0.05）。14、21 日龄时，4.82%组肉鸡十二指肠绒毛高度显著大于其他组（*P*<0.05）；且在 14 日龄时，3.93%组肉鸡十二指肠绒毛高度显著大于 3.04%组（*P*<0.05）；21 日龄时，5.71%组显著小于 3.93%组（*P*<0.05）。

对于空肠黏膜发育，4 日龄时，5.71%组肉鸡空肠绒毛高度显著小于其他组（*P*<0.05）。7 日龄时，4.82%组肉鸡空肠绒毛高度显著大于 5.71%组（*P*<0.05）。10 日龄时，4.82%组肉鸡空肠绒毛高度显著大于其他组（*P*<0.05）。14 日龄时，4.82%组肉鸡空肠绒毛高度显著大于 3.04%和 5.71%组（*P*<0.05）。21 日龄时，5.71%组肉鸡空肠绒毛高度显著低于其他组（*P*<0.05）。其余各组相同日龄空肠绒毛高度差异不显著（*P*>0.05）。同时发现，10、14、21 日龄时，肉鸡空肠绒毛高度随 BCAAs 水平增加表现出相似的变化趋势，即 5.71%组肉鸡空肠绒毛高度最小，BCAAs 水平从 3.04%增加到 4.82%时，空肠绒毛高度逐渐增加。

对于回肠黏膜发育，4、7 日龄时，5.71%组肉鸡回肠绒毛高度显著小于其他组（*P*<0.05）。10 日龄时，3.93%和 4.82%组回肠绒毛高度显著大于 5.71%组（*P*<0.05），而与 3.04%组差异不显著（*P*>0.05）。在 14、21 日龄时，3.93%和 4.82%组回肠绒毛高度显著大于 3.04%和 5.71%组（*P*<0.05），而 5.71%组与 3.04%组之间无显著差异（*P*>0.05）。其余各组相同日龄时肉鸡回肠绒毛高度均无显著差异（*P*>0.05）。

表 6 BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠绒毛高度的影响

Table 6 Effects of BCAAs on the villus height of small intestine of broilers aged of different days

μm

项目 Items	支链氨基酸水平 BCAAs level/%

	3.04	3.93	4.82	5.71
十二指肠 Duodenum				
4 日龄 4 days of age	527.83±23.39^{bc}	514.81±18.88^{ab}	546.26±28.92^{c}	497.22±20.94^{a}
7 日龄 7 days of age	612.06±15.97^{b}	625.24±17.59^{b}	630.71±14.05^{b}	557.84±20.31^{a}
10 日龄 10 days of age	699.34±8.93^{b}	707.56±10.58^{b}	713.14±19.31^{b}	646.40±20.27^{a}
14 日龄 14 days of age	807.74±14.16^{a}	831.45±8.81^{b}	860.87±9.86^{c}	819.23±12.39^{ab}
21 日龄 21 days of age	828.66±16.30^{ab}	847.58±15.49^{b}	883.81±18.60^{c}	817.15±14.13^{a}
空肠 Jejunum				
4 日龄 4 days of age	301.52±5.61^{b}	300.93±11.66^{b}	305.51±12.31^{b}	273.31±12.97^{a}
7 日龄 7 days of age	362.05±16.34^{ab}	346.11±35.26^{ab}	369.69±19.54^{b}	332.53±15.93^{a}
10 日龄 10 days of age	411.13±27.33^{a}	420.58±18.89^{a}	451.78±16.45^{b}	409.11±14.33^{a}
14 日龄 14 days of age	514.43±27.45^{a}	526.85±24.38^{ab}	550.55±19.59^{b}	505.75±13.77^{a}
21 日龄 21 days of age	557.12±20.49^{b}	561.70±42.81^{b}	578.86±17.41^{b}	514.85±19.58^{a}
回肠 Ileum				
4 日龄 4 days of age	213.62±16.94^{b}	214.05±15.80^{b}	210.65±14.04^{b}	182.69±10.24^{a}
7 日龄 7 days of age	237.25±12.67^{b}	234.51±14.16^{b}	240.31±11.18^{b}	214.96±8.28^{a}
10 日龄 10 days of age	255.21±10.28^{ab}	269.71±18.01^{b}	277.39±13.38^{b}	233.75±25.32^{a}
14 日龄 14 days of age	270.44±10.04^{a}	289.91±7.15^{b}	298.93±12.13^{b}	274.85±9.43^{a}
21 日龄 21 days of age	303.23±15.49^{a}	348.88±16.46^{b}	357.58±26.69^{b}	316.52±18.96^{a}

2.3.2 BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠隐窝深度的影响

由表 7 可知，在肉鸡十二指肠黏膜发育方面，7 日龄时，5.71%组肉鸡十二指肠隐窝深度显著小于其他组（P<0.05），4.82%组肉鸡十二指肠隐窝深度显著小于 3.93%组（P<0.05），而与 3.04%组无显著差异（P>0.05）。14 日龄时，5.71%组十二指肠隐窝深度显著小于 3.93%

组（*P*<0.05）。而在 21 日龄时，3.93%组十二指肠隐窝深度显著小于 5.71%组（*P*<0.05），其余各组之间则无显著差异（*P*>0.05）。

在肉鸡空肠黏膜发育方面，4 日龄时，3.93%和 4.82%组肉鸡空肠隐窝深度显著小于 3.04%组（*P*<0.05）。10 日龄时，4.82%组肉鸡空肠隐窝深度显著大于 3.04%和 3.93%组（*P*<0.05），且 5.71%组的空肠隐窝深度显著大于 3.93%组（*P*<0.05）。21 日龄时，3.93%组的空肠隐窝深度显著小于其他组（*P*<0.05），其他各组之间无显著差异（*P*>0.05）。另外，10、14、21 日龄，各组之间空肠隐窝深度均表现出相同的趋势，4.82%组最大，5.71%组次之，3.93%组最小。

在肉鸡回肠黏膜发育方面，4 日龄时，5.71%组回肠隐窝深度显著小于其他组（*P*<0.05），其他各组之间无显著差异（*P*>0.05）。在 7 日龄时，4.82%组回肠隐窝深度显著大于 3.04%组（*P*<0.05），其他组之间差异不显著（*P*>0.05）。在 14、21 日龄，随着 BCAAs 水平的增加，回肠隐窝深度呈现出增加的趋势，且在 14 日龄时，5.71%组回肠隐窝深度显著大于 3.04%组（*P*<0.05）。

表 7　BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠隐窝深度的影响

Table 7　Effects of BCAAs on the crypt depth of small intestine of broilers aged of different days

μm

项目 Items	支链氨基酸水平 BCAAs level/%			
	3.04	3.93	4.82	5.71
十二指肠 Duodenum				
4 日龄 4 days of age	87.71±6.71	86.35±4.69	81.90±5.29	80.52±7.28
7 日龄 7 days of age	93.26±4.31[bc]	100.06±8.18[c]	91.40±4.98[b]	82.31±2.21[a]
10 日龄 10 days of age	103.02±3.34	105.66±5.27	105.53±5.36	107.02±5.54
14 日龄 14 days of age	119.34±5.09[ab]	128.54±5.63[b]	124.63±5.40[ab]	117.14±8.31[a]

21 日龄 21 days of age	161.58±10.96^{ab}	151.62±4.46^{a}	164.22±7.66^{ab}	172.86±18.73^{b}
空肠 Jejunum				
4 日龄 4 days of age	75.12±6.35^{b}	64.52±3.51^{a}	64.66±7.34^{a}	72.21±7.27^{ab}
7 日龄 7 days of age	80.25±5.25	76.60±3.32	83.85±3.72	76.61±7.49
10 日龄 10 days of age	83.79±3.70^{ab}	81.69±3.89^{a}	91.42±3.67^{c}	87.58±4.28^{bc}
14 日龄 14 days of age	98.97±2.23	94.54±4.35	101.00±6.94	99.69±2.15
21 日龄 21 days of age	136.65±7.44^{b}	114.41±11.99^{a}	148.41±8.40^{b}	143.55±11.64^{b}
回肠 Ileum				
4 日龄 4 days of age	60.47±5.29^{b}	58.40±3.10^{b}	56.17±4.09^{b}	48.15±3.86^{a}
7 日龄 7 days of age	61.85±3.59^{a}	64.64±2.63^{ab}	69.79±4.59^{b}	63.87±7.74^{ab}
10 日龄 10 days of age	70.64±2.23	68.47±4.33	75.47±3.73	70.32±7.84
14 日龄 14 days of age	76.32±4.28^{a}	77.97±2.43^{ab}	80.78±2.50^{ab}	82.44±3.66^{b}
21 日龄 21 days of age	93.33±6.79	95.53±9.94	104.05±8.65	104.39±5.63

2.3.3 BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠 V/C 的影响

由表 8 可知，在十二指肠中，4、7 日龄时，4.82%组肉鸡十二指肠 V/C 显著大于 3.93%组（P<0.05），其他各组之间差异不显著（P>0.05）。在 10、14、21 日龄时，3.04%、3.93%和 4.82%组之间 V/C 无显著差异（P>0.05），但在 10、21 日龄时，3.93%和 4.82%组的 V/C 显著大于 5.71%组（P<0.05）。

在空肠中，4 日龄时，3.93%和 4.82%组空肠 V/C 显著大于 3.04%和 5.71%组（P<0.05）。在 10、14、21 日龄时，4.82%与 3.04%组 V/C 无显著差异（P>0.05），但 5.71%组空肠 V/C 显著小于 3.93%（P<0.05）；且在 14 日龄时，3.93%组空肠 V/C 显著大于 3.04%组（P<0.05），4.82%组空肠 V/C 显著大于 5.71%组（P<0.05）；在 21 日龄时，3.93%组的空肠 V/C 显著大于其他组（P<0.05）。

在回肠中，7 日龄时，4.82%和 5.71%组回肠 V/C 显著小于 3.04%组（P<0.05）。10、14、21 日龄时，各组之间回肠 V/C 表现出相同的趋势，即 3.93%和 4.82%组 V/C 大于 3.04%和 5.71%组，且在 14、21 日龄时，3.93%和 4.82%组 V/C 显著大于 5.71%组（P<0.05）。

表 8　BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠 V/C 的影响

Table 8　Effects of BCAAs on the V/C of small intestine of broilers aged of different days

项目 Items	支链氨基酸水平 BCAAs level/%			
	3.04	3.93	4.82	5.71
十二指肠 Duodenum				
4 日龄 4 days of age	6.04±0.38^{ab}	5.97±0.31^{a}	6.70±0.70^{b}	6.22±0.69^{ab}
7 日龄 7 days of age	6.58±0.43^{ab}	6.28±0.48^{a}	6.92±0.40^{b}	6.78±0.22^{ab}
10 日龄 10 days of age	6.79±0.17^{b}	6.71±0.42^{b}	6.76±0.24^{b}	6.05±0.30^{a}
14 日龄 14 days of age	6.78±0.35^{ab}	6.48±0.24^{a}	6.91±0.23^{ab}	7.02±0.46^{b}
21 日龄 21 days of age	5.14±0.30^{ab}	5.59±0.16^{b}	5.39±0.24^{b}	4.77±0.50^{a}
空肠 Jejunum				
4 日龄 4 days of age	4.03±0.27^{a}	4.67±0.29^{b}	4.76±0.4^{b}	3.81±0.28^{a}
7 日龄 7 days of age	4.52±0.24	4.51±0.31	4.41±0.20	4.36±0.32
10 日龄 10 days of age	4.91±0.26^{ab}	5.15±0.23^{b}	4.94±0.13^{ab}	4.68±0.14^{a}
14 日龄 14 days of age	5.20±0.21^{ab}	5.58±0.25^{c}	5.47±0.32^{bc}	5.07±0.14^{a}
21 日龄 21 days of age	4.09±0.31^{a}	4.93±0.43^{b}	3.91±0.15^{a}	3.60±0.29^{a}
回肠 Ileum				
4 日龄 4 days of age	3.54±0.24	3.67±0.31	3.77±0.42	3.82±0.41
7 日龄 7 days of age	3.84±0.06^{b}	3.63±0.22^{ab}	3.45±0.28^{a}	3.39±0.27^{a}
10 日龄 10 days of age	3.61±0.10^{ab}	3.96±0.42^{b}	3.68±0.25^{ab}	3.33±0.23^{a}

14 日龄 14 days of age	3.55±0.29[ab]	3.72±0.11[b]	3.70±0.11[b]	3.34±0.14[a]
21 日龄 21 days of age	3.26±0.31[ab]	3.67±0.24[c]	3.44±0.12[bc]	3.03±0.14[a]

3 讨 论

3.1 BCAAs 对肉鸡生长性能的影响

Farran 等[10]研究表明，对 3 周龄雄性肉鸡单独饲喂任一种 BCAA 均不能提高其体增重，而同时添加 3 种 BCAA 可以提高肉鸡体增重并改善饲料转化率。同时，Waldroup 等[11]研究指出，随 BCAAs 水平由 3.93%增至 6.86%时，肉鸡体重无显著变化，采食量下降，料重比降低，而 BCAAs 水平达到 7.71%时，肉鸡体重显著下降。本试验中，当饲粮中 BCAAs 水平从 3.04%增加到 4.82%时，3.04%、3.93%和 4.82%组肉鸡体重及平均日增重无显著差异，平均日采食量及料重比逐渐降低，这与以上结果相一致。其原因可能为添加 BCAAs 降低了血液中色氨酸（Trp）/BCAAs，进而引起采食量的降低[12]，而料重比的降低也主要是由平均日采食量降低引起。

此外，当 BCAAs 水平达到 5.71%时，平均日采食量显著下降，平均日增重也较 4.82%组降低，不利于肉鸡的生长性能改善。唐胜球等[13]研究报道，过量摄食 BCAAs 会影响动物的生长，尤其当某一种 BCAAs 过多时，BCAAs 之间易发生拮抗作用，严重阻碍其他氨基酸的吸收与转化，降低动物的采食量及生长速度，影响机体的正常生理功能；另有学者报道，过量摄入 Leu，将会导致动物的采食量及日增重降低[14]。同样，Harper 等[15]及 Fernstrom[16]指出，摄入过量的 BCAAs 导致大脑 5-羟色胺水平降低，进而降低采食量。这些结果均表明 BCAAs 过量会降低采食量，与本试验结果相一致。因而，饲粮中适量的 BCAAs 水平有利于提高肉鸡的生长性能，过量则不利于肉鸡的生长。

3.2 BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠长度、相对重及单位长度重的影响

作为机体营养物质消化吸收的主要场所，肠道发育与家禽的生长性能密切相关。小肠长度及重量的变化均可引起小肠对营养物质吸收的改变，从而影响动物的生长性能。本试验结

果表明，当饲粮中 BCAAs 水平从 3.04%增加到 4.82%时，十二指肠的单位长度重、空肠相对重及单位长度重也会随之增加。而动物快速生长常伴随蛋白质的快速合成[17]，故产生此结果的原因可能是 BCAAs 通过促进肠道蛋白质的合成，从而促进肠道发育。Yin 等[18]研究表明，饲粮中缺乏 BCAAs 导致仔猪肠道蛋白质合成减少，肠道黏膜质量降低。相反，饲粮中添加 0.27% Leu（占饲粮 1.61%），显著增加了仔猪近端小肠蛋白质的合成，从而促进消化道的生长。同样，Torrazza 等[19]研究指出，低蛋白质饲粮中添加 Leu 达饲粮的 4%时，促进了动物空肠蛋白质的合成。另外，BCAAs 对肉鸡不同肠段所产生的影响不同，这可能是由小肠各段的形态结构存在差异造成的。本试验中饲粮 BCAAs 水平从 4.82%增加到 5.71%时，试验肉鸡十二指肠相对重、空肠的长度及相对重降低，不利于肠道的健康生长发育，分析其原因可能是由 BCAAs 水平过高造成平均日采食量下降引起的。研究指出，在动物生长发育早期，采食量与肠道发育及健康密切相关，较高的采食量能够促进肠道的发育，提高肠道结构和功能的完整性，保证肠道的健康发育；反之，则不利于肠道发育[20]。因而，在一定范围内，随着饲粮中 BCAAs 水平升高，肉鸡小肠发育得到改善，而过高的 BCAAs 水平可能会通过降低采食量而不利于肠道的健康发育。

3.3 BCAAs 对肉鸡不同日龄小肠黏膜发育的影响

小肠是机体营养物质消化、吸收和转运的主要部位，良好的小肠黏膜结构对完善消化生理功能，促进机体生长发育尤为重要[21]。本试验中，随着 BCAAs 水平的增加，3.04%、3.93%和 4.87%组的小肠各段绒毛高度逐渐增加，表明适当增加 BCAAs 水平能够促进小肠的绒毛发育，提高小肠对养分的吸收能力，但 5.71%组的绒毛高度却随着 BCAAs 水平的提高出现了下降，这也与本试验中 BCAAs 对肉鸡平均日采食量的影响结果相对应，即高水平的 BCAAs 降低了肉鸡平均日采食量，使小肠绒毛高度发生改变，从而影响肠道发育。另外，V/C 可综合反映小肠的功能状态，V/C 上升表示肠道发育得到改善；反之，则表示肠道受损，动物生长发育受阻[22]。本试验中，饲粮 BCAAs 水平从 4.82%增加到 5.71%时，肉鸡小肠 V/C

显著下降，进一步表明 BCAAs 的适量添加能够促进小肠的发育，而过高的 BCAAs 则不利于小肠的发育，影响其对营养物质的充分吸收，减缓肉鸡的生长。

Sun 等[23]研究表明，将 Leu 水平提高至母乳中含量的 2 倍饲喂于哺乳仔猪时，哺乳仔猪十二指肠的绒毛高度及回肠 V/C 显著增加。这与本试验中 BCAAs 水平由 3.04%增加到 4.82%时，十二指肠绒毛高度随之增加的结果相一致，而回肠 V/C 并未显著提高，可能是由于在回肠绒毛高度增加的同时，隐窝深度也随 BCAAs 的递增而加深。小肠形态结构随 BCAAs 水平增加而变化的机制可能如下:1）BCAAs 通过影响肠道氨基酸转运载体的表达，进而影响小肠的发育。有研究表明，饲喂高氨基酸水平的饲粮，机体对各种氨基酸的转运则会相应提高，这主要是由氨基酸转运载体表达量增加造成的[24]。Zhang 等[25]研究发现，低蛋白质饲粮中添加 0.63%~3.19% BCAAs，能显著提高断奶仔猪空肠氨基酸转运载体，对维持小肠的正常发育起着重要作用。2）BCAAs 通过影响肠道哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(mammalian target of rapamycin,mTOR)信号通路，进而影响小肠的发育。mTOR 信号传导通路能够综合调控细胞生长、增殖、凋亡和自噬[26]，且对氨基酸信号比较敏感。Apelo 等[27]试验结果表明，Ile 能够促进 *mTOR* 的磷酸化，线性增加核糖体蛋白 S6 磷酸化，调控小肠蛋白质的合成，从而促进小肠绒毛的发育；王瑞贺等[28]研究发现，Leu 能显著提高肉鸡肠上皮细胞 *mTOR* 基因表达，进而促进肠上皮细胞的分裂增殖。因而，合适的 BCAAs 水平可能通过增加小肠氨基酸转运载体或促进小肠上皮细胞的分裂增殖，从而促进小肠形态的发育。

但 BCAAs 过量将不利于小肠组织形态的发育。本试验结果表明，饲粮中添加 BCAAs 水平从 4.82%增加到 5.71%时，小肠绒毛高度及 V/C 会显著降低，从而影响肉鸡对营养物质的吸收利用，不利于肉鸡的肠道发育。Apelo 等[27]研究发现，Leu 和 Ile 对 *mTOR* 产生的影响取决于二者及与其他氨基酸之间的拮抗作用。而氨基酸产生拮抗作用，将会导致氨基酸的有效利用率降低，不利于 *mTOR* 及其他相关基因的表达，从而减缓肠上皮细胞的分裂增殖，不利于肠道黏膜的生长。而目前关于过量 BCAAs 对小肠造成不利影响的原因尚不明确，其

具体机制有待进一步深入研究。

4 结 论

① 本试验条件下，增加饲粮 BCAAs 水平能够降低肉鸡料重比，但高水平 BCAAs 会显著降低肉鸡平均日采食量。

② 随饲粮中 BCAAs 水平由 3.04%增至 4.82%时，肉鸡十二指肠单位长度重、空肠相对重以及小肠绒毛高度随之增加，从而促进小肠的生长发育；但当其水平达到 5.71%时，肠道绒毛高度及 V/C 显著降低，小肠生长发育减缓。

参考文献：

[1] 刘春生,张大鹏,刘文宽,等.支链氨基酸在泌乳母猪营养中的研究现状[J].饲料研究,2006(2):31–32.

[2] FERRANDO A A,WILLIAMS B D,STUART C A,et al.Oral branched-chain amino acids decrease whole-body proteolysis[J].Journal of Parenteral and Enteral Nutrition,1995,19(1):47–54.

[3] SHIMOMURA Y,OBAYASHI M,MURAKAMI T,et al.Regulation of branched-chain amino acid catabolism:nutritional and hormonal regulation of activity and expression of the branched-chain α-keto acid dehydrogenase kinase[J].Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care,2001,4(5):419–423.

[4] CROZIER S J,KIMBALL S R,EMMERT S W,et al.Oral leucine administration stimulates protein synthesis in rat skeletal muscle[J].The Journal of Nutrition,2005,135(3):376–382.

[5] WILSON F A,SURYAWAN A,GAZZANEO M C,et al.Stimulation of muscle protein synthesis by prolonged parenteral infusion of leucine is dependent on amino acid availability in neonatal pigs[J].The Journal of Nutrition,2010,140(2):264–270.

[6] FREUDENBERG A,PETZKE K J,KLAUS S.Dietary *L*-leucine and *L*-alanine

supplementation have similar acute effects in the prevention of high-fat diet-induced obesity[J].Amino Acids,2013,44(2):519–528.

[7] ZHANG Y Y,GUO K Y,LEBLANC R E,et al.Increasing dietary leucine intake reduces diet-induced obesity and improves glucose and cholesterol metabolism in mice via multimechanisms[J].Diabetes,2007,56(6):1647–1654.

[8] BURNHAM D,EMMANS G C,GOUS R M.Isoleucine requirements of the chicken:the effect of excess leucine and valine on the response to isoleucine[J].British Poultry Science,1992,33(1):71–87.

[9] WILTAFSKY M K,PFAFFL M W,ROTH F X.The effects of branched-chain amino acid interactions on growth performance,blood metabolites,enzyme kinetics and transcriptomics in weaned pigs[J].British Journal of Nutrition,2010,103(7):964–976.

[10] FARRAN M T,THOMAS O P.Valine deficiency.2.The effect of feeding a valine-deficient diet during the starter period on performance and leg abnormality of male broiler chicks[J].Poultry Science,1992,71(11):1885–1890.

[11] WALDROUP P W,KERSEY J H,FRITTS C A.Influence of branched-chain amino acid balance in broiler diets[J].International Journal of Poultry Science,2002,1(5):136–144.

[12] TROTTIER N L,EASTER R A.Dietary and plasma branched-chain amino acids in relation to tryptophan:effect on voluntary feed intake and lactation metabolism in the primiparous sow[J].Journal of Animal Science,1995,73(4):1086–1092.

[13] 唐胜球,董小英.支链氨基酸在畜禽生产中的应用研究进展[J].广东饲料,2010,19(9):22–25.

[14] PAPET I,BREUILLE D,GLOMOT F,et al.Nutritional and metabolic effects of dietary leucine excess in preruminant lamb[J].The Journal of Nutrition,1988,118(4):450–455.

[15] HARPER A E,MILLER R H,BLOCK K P.Branched-chain amino acid metabolism[J].Annual Review of Nutrition,1984,4(6):409–454.

[16] FERNSTROM J D.Branched-chain amino acids and brain function[J].The Journal of Nutrition,2005,135(6):1539S–1546S.

[17] BUTTERY P J.Protein turnover in animals[J].Tropical Animal Production,1981,6(3):204–213.

[18] YIN Y L,YAO K,LIU Z J.Supplementing *L*-leucine to a low-protein diet increases tissue protein synthesis in weanling pigs[J].Amino Acids,2010,39(5):1477–1486.

[19] TORRAZZA M R,SURYAWAN A,GAZZANEO M C,et al.Leucine supplementation of a low-protein meal increases skeletal muscle and visceral tissue protein synthesis in neonatal pigs by stimulating *mTOR*-dependent translation initiation[J].The Journal of Nutrition,2010,140(12):2145–2152.

[20] 王磊,王康宁.影响猪胃肠道发育因素的研究进展[J].饲料工业,2006,27(5):13–16.

[21] 聂立欣,于博.猪不同肠段肠绒毛与肠腺形态的测量研究[J].畜牧兽医科技信息,2010(6):28–29.

[22] 赵金艳,韩瑞明.仔猪消化生理与营养调控的研究进展[J].黑龙江畜牧兽医,2006,(4):21–22.

[23] SUN Y L,WU Z L,LI W,et al.Dietary *L*-leucine supplementation enhances intestinal development in suckling piglets[J].Amino Acids,2015,47(8):1517–1525.

[24] FERRARIS R P,DIAMOND J M.Specific regulation of intestinal nutrient transporters by their dietary substrates[J].Annual Review of Physiology,1989,51(1):125–141.

[25] ZHANG S H,QIAO S Y,REN M,et al.Supplementation with branched-chain amino acids to a low-protein diet regulates intestinal expression of amino acid and peptide transporters in

weanling pigs[J].Amino Acids,2013,45(5):1191–1205.

[26] AVRUCH J,HARA K,LIU Y,et al.Insulin and amino-acid regulation of mTOR signaling and kinase activity through the Rheb GTPase[J].Oncogene,2006,25(48):6361–6372.

[27] APELO S I A,SINGER L M,LIN X Y,et al.Isoleucine,leucine,methionine,and threonine effects on mammalian target of rapamycin signaling in mammary tissue[J].Journal of Dairy Science,2014,97(2):1047–1056.

[28] 王瑞贺,李然,韩静娅,等.亮氨酸对肉鸡肠上皮细胞 *TOR* 基因表达调控的研究[C]//中国林牧渔业经济学会饲料经济专业委员会第七届学术交流大会.郑州:中国林牧渔业经济学会,中国饲料工业协会,2011:163–165.

Effects of Branched-Chain Amino Acids on Growth Performance and Intestinal Development of Broilers

CHANG Yinlian LIU Guohua CHANG Wenhuan ZHANG Shu ZHENG Aijuan CAI Huiyi*

（*Key Open Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture*, *Feed Research Institution*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100081, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of branched-chain amino acids (BCAAs) on the growth performance and intestinal development of broilers. Three hundred and eighty-four one-day-old Arbor Acres (AA) healthy male broilers were randomly assigned into four groups with 6 replicates per group and 16 broilers per replicate. Each group was offered one of the following diets with different BCAAs levels: 3.04%, 3.93%, 4.82% and 5.71%, respectively. The ratio of leucine (Leu), isoleucine (Ile) and valine (Val) was 1.8: 1.0: 1.2. The experiment lasted for

*Corresponding author, professor, E-mail: caihuiyi@caas.cn

(责任编辑　李慧英)

21 days and all birds were free to feed and water. The results showed that there was no significant difference in body weight or average daily gain among all groups (*P*>0.05), while the average daily feed intake in 5.71% group was significantly lower than that in 3.04% group (*P*<0.05), the ratio of feed to gain in 4.82% and 5.71% groups was significantly lower than that in 3.04% group (*P*<0.05). At age of 14 and 21 days, the weight of unit length of duodenum and jejunum of broilers, as well as the relative weight of jejunum rose with the increasing level of BCAAs from 3.04% to 4.82%. Additionally, at age of 14 and 21 days, the weight of unit length of duodenum in 4.82% group was significantly higher than that in 3.04% group (*P*<0.05). At age of 14 and 21 days, the weight of unit length of duodenum and the relative weight of jejunum were significantly decreased as the level of BCAAs increased from 4.82% to 5.71% (*P*<0.05). At age of 14 and 21 days, the villus height of duodenum and ileum in 4.82% group was significantly higher than that in 3.04% group (*P*<0.05). At age of 10 and 14 days, the villus height of jejunum in 4.82% group was significantly higher than that in 3.04% group (*P*<0.05), while the villus height of the small intestine in 5.71% group was significantly lower than that in 4.82% group (*P*<0.05). Furthermore, no significant differences were found in crypt depth of jejunum between 5.71% and 3.04% groups (*P*>0.05). At age of 10 and 21 days, the crypt depth of jejunum in 4.82% group was significantly higher than that in 3.93% group (*P*<0.05). At age of 10, 14 and 21 days, the ratio of villus height to crypt depth （V/C） of jejunum and ileum in 5.71% was the lowest among all groups, but no significant difference was found when compared with 3.04% group (*P*>0.05). The V/C of jejunum and ileum in 3.93% group was significantly higher than that in 5.71% group (*P*<0.05). In conclusion, under the situation of this experiment, with the increase of BCAAs level, the ratio of feed to gain can decrease; the addition of BCAAs with appropriate amount can promote intestinal development of broilers, while excessive addition can significantly decrease average daily feed

intake and lead to the postponed development of the small intestine.

Key words: branched-chain amino acids; broilers; growth performance; intestinal development